

T-Floor 차단율에 따른 냉동컨테이너 적재부 온도편차에 관한 연구

박상원*, 이은규*, 한동섭*

A Study on the Temperature Variations of the Loading Part of Reefer Containers according to T-Floor Shielding Ratio

SangWon Park*, EunKyu Lee*, DongSeop Han*

요약 냉동컨테이너는 외부 환경의 영향으로 인해 냉동기가 있는 적재부 전면과 컨테이너 문이 있는 적재부 후면 사이에 3°C 이상의 온도 편차가 발생한다. 특히, 신선 화물 운송 시 이러한 온도 편차는 화물 신선도에 큰 영향을 준다. 본 연구에서는 냉동컨테이너 적재부의 온도 변화를 줄이기 위해 T-Floor 일부를 차단하여 온도편차를 최소화하는 방법을 제안한다. 실험 대상은 40 feet 냉동컨테이너로 T-Floor 차단율은 0%, 50%, 60%, 70%로 설계 변수를 설정하였다. 실험 결과 T-Floor 차단율을 60%로 설정한 경우, 기존 차단율 0% 대비 안정기 도달 시간이 28.5% 감소하며, 표준편차는 42.9% 감소함을 확인하였다. 이러한 적재부의 온도 편차 최소화를 통해 신선화물 운송 시 화물의 부패를 예방할 수 있다.

Abstract Reefer containers experience a temperature deviation of 3°C or more between the front, where the refrigerator is located, and the rear, where the container door is, due to external environmental factors. This temperature deviation significantly affects the freshness of cargo, particularly in the transportation of fresh goods. This study proposes a method to minimize temperature deviation by partially shielding the T-Floor. The test subjects were 40-foot reefer containers, and the design variables for the shielding rate were set at 0%, 50%, 60%, and 70%. The experiment results showed that with a T-Floor shielding rate of 60%, It was confirmed that the stabilization time decreased by 28.5% compared to the existing cutoff rate of 0%, and the standard deviation decreased by 42.9%. By minimizing the temperature deviation within the loading part, it is possible to prevent spoilage of fresh cargo during transportation.

Key Words : Reefer Container, T-Floor, Temperature Deviation, Shielding, Freshness Cargo

1. 서론

냉동 컨테이너가 해상 수송에 도입된 이후, 각국의 인구 증가와 소득 수준 향상에 따라 냉장 및 냉동 화물에 대한 수요가 증가하고 있다[1]. 최근 컨테이너 수송 기술의 발달, 냉장·냉동 기술의 진보, 선박 속도의 향상, 그리고 소비자들의 소비 패턴 변화로 인해 기호가 더욱 다양화되고 고급화되면서, 이전에는 운송이 비교적 까다로웠던 냉장·냉동 화물의

컨테이너 수송이 증가하고 있다[2].

하지만, 신선농산물의 컨테이너를 이용한 해상운송을 위해서는 장기간 선박을 통해 운송되는 컨테이너 내부 온도 편차를 최소화하고, 온도를 일정하게 유지시키는 기술이 필요하다[3][4]. 현재 냉동컨테이너를 이용한 해상운송 중 컨테이너 내부 온도를 일정하게 유지하고 있지만, 온도 유지를 위한 온도 센서가 화물 적재부 외부 냉동기 부분에 위치하고 있어 화물 적재부 내부 온도를 정확하게 감지하지 못

This research was supported by Korea Institute of Marine Science & Technology Promotion (KIMST) funded by the Ministry of Oceans and Fisheries, Korea.(20210154)

* Corresponding Author : Dong-A University Smart Logistics R&D Center(dshan@dau.ac.kr)

Received September 30, 2024

Revised October 14, 2024

Accepted October 19, 2024

하고 있다[5].

냉동컨테이너의 T-Floor는 적재부 바닥에 설치된 T자 모양의 알루미늄 구조물로 냉기 순환을 돕기 위한 요소이다. 하지만 T-Floor는 개방되어 있어 냉기를 후방(도어)으로 충분히 전달하기 어려우며, 냉동기와 컨테이너 문 부분의 온도 편차가 약 3°C 이상 발생하는 문제가 있다[5]. 그 이유는 문이 구조적으로 완전히 밀폐되기 어렵고 바닥에 배수구가 있어 외부 열이 유입될 수 있기 때문이다.

해운 물류 환경에서는 육상 운송, 터미널, 선박 등 다양한 조건에서 운송이 이루어지기 때문에 일시적인 전원 차단과 같은 현상이 발생할 수 있다. 이때, 컨테이너 내부의 온도는 외부 환경에 의해 크게 영향을 받게 되는데, 이로 인해 화물의 손상과 같은 문제가 발생할 수 있다[6]. 따라서, 냉동컨테이너 내부 온도를 설정 온도로 빠르게 유지하고, 온도의 편차를 최소화하는 기술이 필요하다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 T-Floor를 차단하지 않은 경우와 T-Floor의 짝수 칸을 50%, 60%, 70%로 차단하여 설정온도 도달 시간과 온도 편차를 분석하여 T-Floor의 차단이 냉동컨테이너 적재부의 온도변화에 미치는 영향을 평가하였다. 본 논문의 구성은 2장에서 관련 연구를 검토하여 차별성을 제시하고, 3장에서는 냉동컨테이너에 대해 소개한다. 4장에서 실험을 통해 냉동컨테이너 적재부의 온도 편차를 분석한 후 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

냉동컨테이너의 온도 편차 분석에 대한 관련연구 검토 결과는 다음과 같다. 국내의 경우 Moon et al.은 해상운송 실험을 통해 냉동컨테이너 적재부의 온도 편차를 분석하였다[1]. 연구 결과 해상운송 구간에서는 기존 냉동컨테이너 적재부 온도 편차 3°C 보다 적은 0.5°C 내외의 온도 편차가 나타나는 것을 확인하였다.

국외의 경우 Muhammad and Nadhilah는 전산 유체역학(CFD, Computational Fluid Dynamics) 모델을 사용하여 T-Floor 바닥과 평면 바닥 두 가지 유형의 냉동컨테이너에서 냉기 순환 속도를 분석

하였다[7]. 연구 결과 T-Floor 바닥을 적용한 냉동컨테이너의 평균 냉기 순환 속도는 평면 바닥 대비 약 26% 높은 것을 확인하였다.

Agus Salim et al.은 냉동컨테이너 적재부의 냉기 순환을 개선하기 위해 T-Floor에 플레이트를 추가하여 각도 변경에 따른 CFD 분석하였다. 연구 결과 40°각도의 플레이트가 냉기 순환에 가장 효과적임을 확인하였다[8].

Budiyanto et al.는 냉동컨테이너의 CFD 시뮬레이션을 통해 적재 상태의 공기 유동 분포를 분석하였다. 연구 결과 화물이 적재된 조건에서 T-Floor 바닥은 수직 유동 분포로 인해 화물의 모든 부분이 균일한 냉각 조건에 해당 하는 것을 확인하였다[9].

Kan et al.은 컨테이너 냉동기의 고장이 냉장 및 냉동 화물에 미치는 영향과 온도 상승을 파악하기 위해 적재부의 온도 모니터링 실험을 진행하였다[10]. 연구 결과 냉동컨테이너의 배수구를 통해 외부 공기가 유입되어 가까운 화물의 온도가 외부 공기의 높은 열 전달로 인해 상대적으로 빠르게 상승하는 현상을 확인하였다.

Lukasse et al.은 40 feet 냉동컨테이너의 화물 적재에 따른 온도 변화를 실험을 통해 확인하였다[11]. 연구 결과 가장 온도 편차가 높은 화물 온도는 4°C에서 7°C 사이였으며 도어쪽에서 가장 높은 온도 편차를 확인하였다.

지금까지 발표된 선행연구는 CFD를 통해 냉동컨테이너 적재부의 냉기 순환과 온도 변화를 확인하였다. 따라서 본 연구는 실험을 통해 T-Floor를 부분적으로 차단하여 냉동컨테이너의 적재부의 온도 편차를 최소화하고 적절한 차단율을 도출하였다.

3. 냉동컨테이너

냉동컨테이너는 냉동기와 적재부로 구성된다. 냉동기는 화물의 상태를 유지하기 위해 적재부에 냉기 또는 온기를 일정하게 공급하는 장치이며, 적재부는 화물이 적재되는 공간이다[12]. 그림 1의 T-Floor는 냉기가 잘 순환될 수 있도록 적재부 바닥에 T자 모양의 레일 형태로 되어 있다. 냉동컨테이너의 T-Floor는 컨테이너 내부 바닥에 설치된 T자형 알루미늄 바닥 구조로, 냉기를 효율적으로 순환시키는 역할을 한다. 이 구조는 바닥과 화물 사이에 공간을

만들어, 냉동기를 통해 발생한 냉기가 화물 아래로 원활하게 흐르도록 돕는다. 이를 통해 균일한 온도 분포를 유지할 수 있어 냉장 및 냉동화물의 신선도를 유지할 수 있다[12].

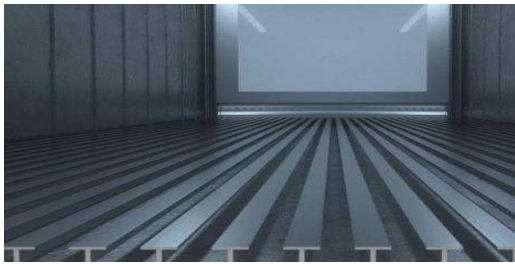


그림 1. 냉동컨테이너의 T-Floor
Fig. 1. T-Floor of Reefer Container

그림 2는 냉동컨테이너의 내부 공기 순환을 나타낸다. 냉동컨테이너 강제 냉풍 순환방식은 상류 공급방식(Top discharge)과 하류 공급방식(Bottom discharge)으로 구분된다[2].

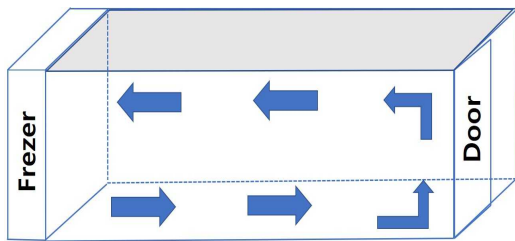


그림 2. 냉동컨테이너 공기순환
Fig. 2. Air Circulation Diagram Of Reefer Containers

최근 상용적으로 활용되는 냉동컨테이너의 경우 증발기 상부에 모터와 팬을 설치하여 아래로 증발기 코일을 통과시켜 찬 공기를 화물 아래쪽 T-Floor 사이로 통과시키고, 다시 화물 적재 끝부분에서 화물을 냉각시킨 찬 공기가 천장을 타고 증발기 코일을 통과하는 하류 공급방식이다[2].

4. 실험

4.1 실험 조건 및 방법

실험 대상은 40 feet 냉동컨테이너이며, 외부 평균

온도는 12~18°C이다. Fig. 3과 같이 초기 설정온도는 30°C이며, 목표 설정온도는 냉장 화물의 평균 온도 5°C를 기준으로 하여 실험을 진행하였다[13].



그림 3. 냉동기 설정 온도
Fig. 3. Freezer Set Temperature

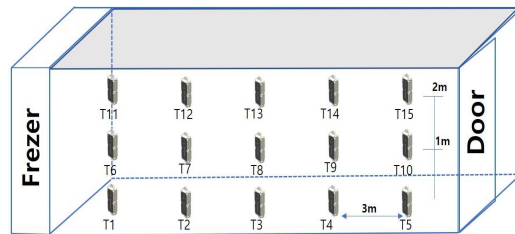


그림 4. 온도센서 부착 위치
Fig. 4. Temp. sensor attachment position

그림 4와 같이 데이터 수집은 T-Floor 바닥(0m)으로부터 공급되는 온도 측정을 위해 온도센서 5개(T1~T5)와 적재부의 1m 높이에 온도센서 5개(T6~T10), 순환 온도 기록을 위해 2m 높이의 온도센서 5개(T11~T15)를 설치하여 총 15개의 온도센서가 사용되었다. 15개의 지점에서 1분 간격으로 4시간 동안 온도를 측정하여 각각 240개의 샘플을 수집하였다. 표 1은 T-Floor가 차단되지 않은 경우(0%), 50%, 60%, 70%에 따른 총 4개의 실험 조건을 나타낸다. 그림 5는 T-Floor의 차단율을 나타내며, 그림에 차단율 0%는 T-Floor를 막지 않은 상태를 나타낸다. 차단율 50%~70%는 T-Floor 바닥 면적이 차단된 상태를 의미하며, 짝수 열의 T-Floor를 Poly Carbonate로 차단하여 냉기가 후면부까지 고르게 분배되도록 유도한 것이다.

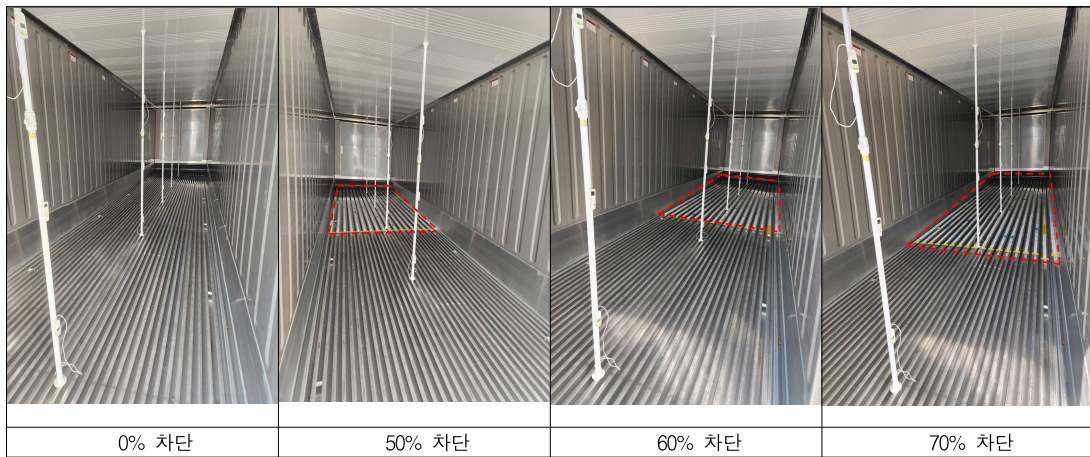


그림 5. 차단율에 따른 설계 변수
 Fig. 5. Design Variables according to Shielding Rate

표 1. 실험 조건
 Table 1. Experimental conditions

운전 모드	초기 설정온도 [°C]	목표 설정온도 [°C]	차단율 [%]
냉장 운전	30	5	70
			60
			50
			0

4.2 실험 결과

그림 6~9는 T-Floor를 차단하지 않은 경우(0%)와 50%, 60%, 70%까지 4가지 실험 조건에 대하여 15개의 지점에서 1분 간격으로 4시간 동안 온도 패턴을 나타내며, 표 2와 그림 10은 차단율에 따른 냉동컨테이너의 후면부 온도편차와 감소율을 나타낸다. T1~T5의 값을 표시하는 왼쪽 그래프는 T-Floor 바닥(0m)에서 5개 지점의 온도를 나타내며, T6~T10의 값을 나타내는 가운데 그래프는 적재부의 1m 높이에서 5개 지점의 온도를 나타내며, T11~T15 값을 나타내는 오른쪽 그래프는 적재부의 2m 높이인 5개 지점의 온도를 각각 나타낸다. 그림 6~9과 같이 T-Floor 차단율에 따른 온도 변화는 기존 냉동컨테이너(0%)의 경우 T1~T3는 공급되는 설정온도 5°C와 동일하게 전달되

지만 이후 T4~T5에는 약 5.5°C에 가깝게 증가하여 냉기가 충분히 전달되지 않는 것을 알 수 있다. 하지만 짝수 칸의 T-Floor를 50%~70%로 변화시켜가며 차단한 경우(Fig. 3~5 좌측 그래프) 냉기가 냉동컨테이너의 문이 있는 후면부로 잘 전달된다는 것을 알 수 있다. 문이 있는 T5 지점 온도의 경우 차단율 0%와 비교하여 5.5°C에서 5.1°C로 약 0.4°C 감소함을 확인하였다. 1m 및 2m 높이에서 측정된 T6~T15의 온도 변화를 살펴보면, 차단율 0%의 경우 냉기가 나오는 냉동기 쪽의 온도가 먼저 낮아지고, 열평형이 이루어진 후 컨테이너 문이 있는 도어부의 온도가 설정 온도에 근접한 약 5°C임을 확인할 수 있다. T-Floor의 차단율을 50%에서 70%로 변경한 후 바닥에서 2m 높이의 온도 분포를 확인한 결과, 차단율 50%~60%일 때 온도 분포가 가장 균일하게 나타났으며, 적재부의 온도 편차가 가장 최소화됨을 확인할 수 있다.

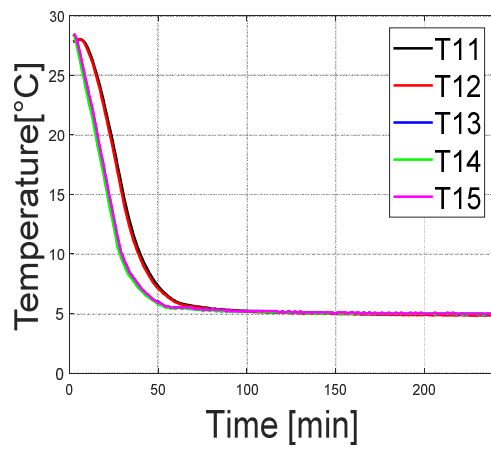
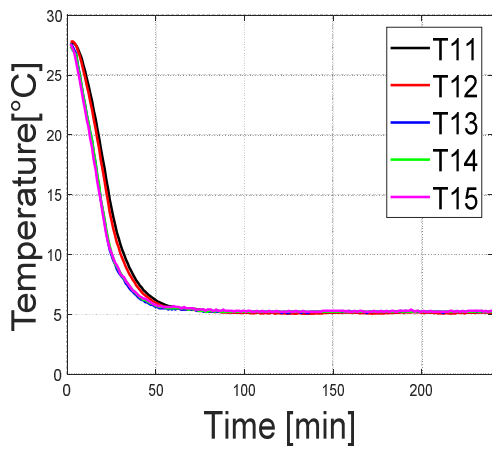
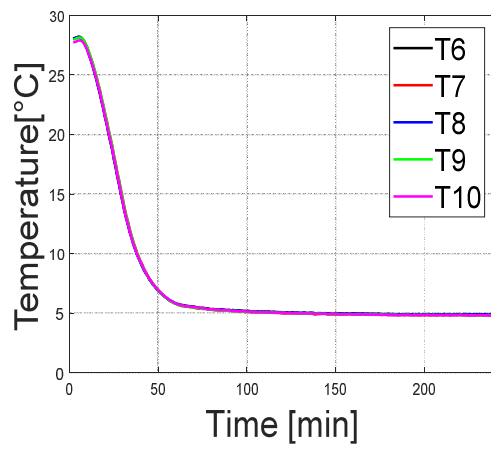
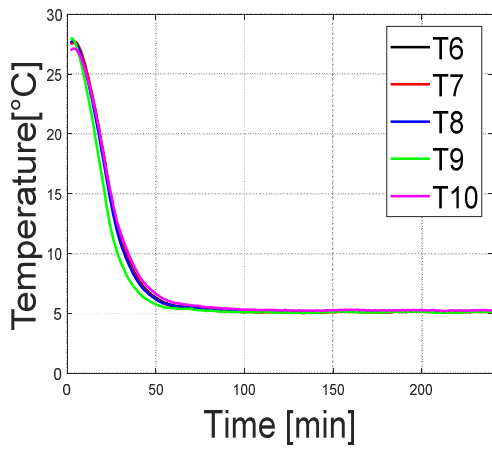
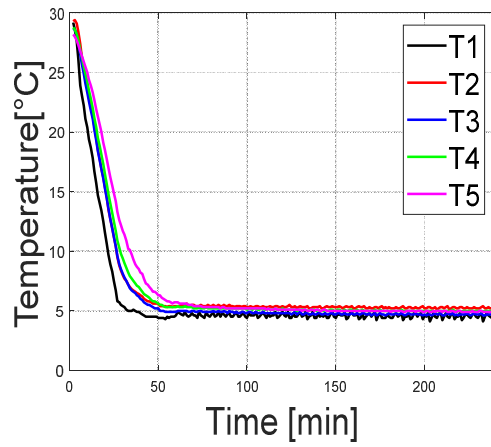
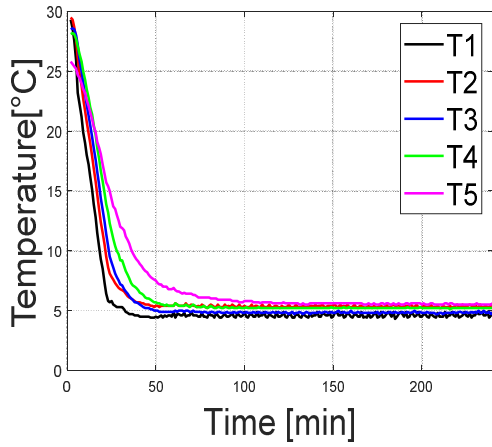


그림 6. 0% 차단(기존 모델) 조건의 시간에 따른 온도
Fig. 6. Temperatures according to time in 0%-shielding (existing model) condition

그림 7. 50% 차단 조건의 시간에 따른 온도
Fig. 7. Temperatures according to time in 50%-shielding condition

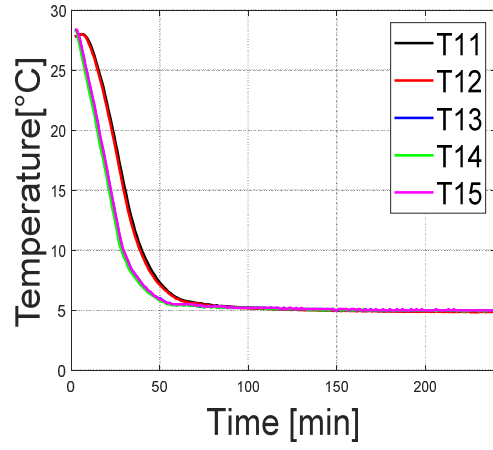
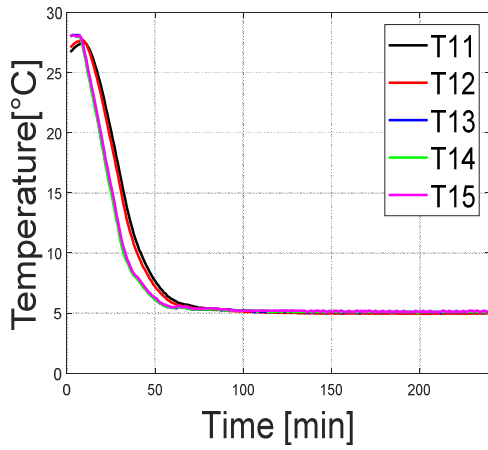
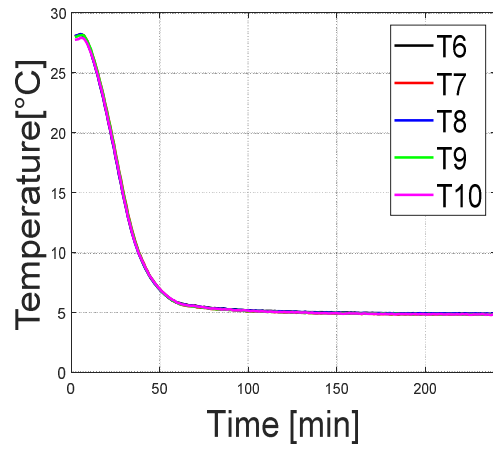
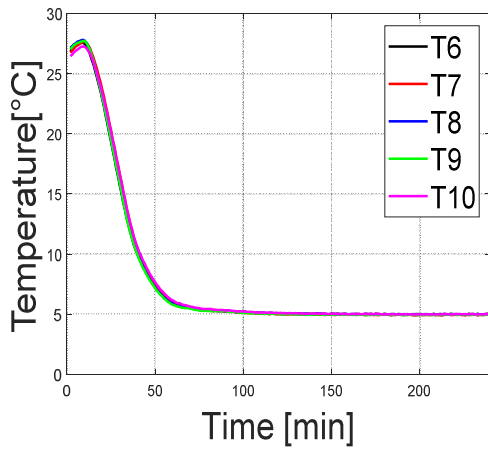
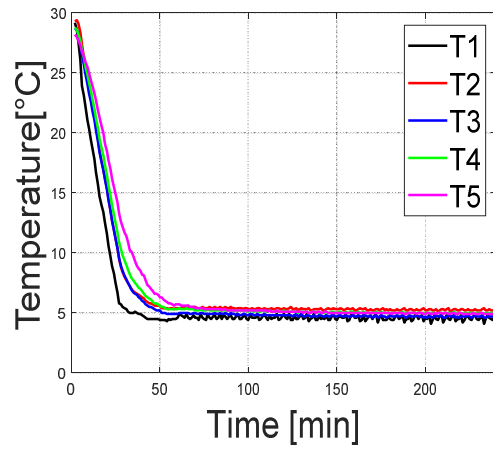
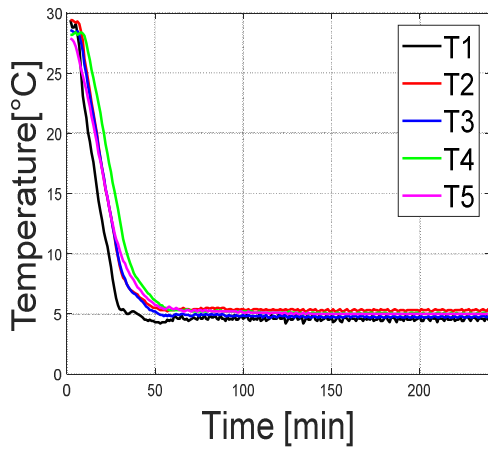


그림 8. 60% 차단 조건의 시간에 따른 온도
 Fig. 8. Temperatures according to time in 60%-shielding condition

그림 9. 70% 차단 조건의 시간에 따른 온도
 Fig. 9. Temperatures according to time in 70%-shielding condit

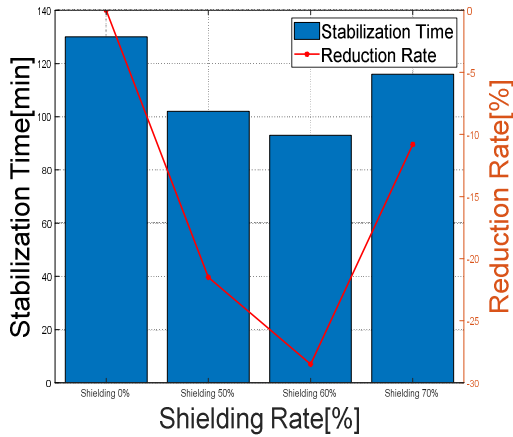


그림 10. 차단율에 따른 안정기 도달시 후면부 온도와 감소율

Fig. 10. Rear end temperature and reduction rate on reaching stability, based on blocking rate

표 2. 차단율에 따른 안정기 도달 시 후면부 온도와 감소율

Table 2. Rear end temperature and reduction rate on reaching stability, based on blocking rate

차단율 [%]	온도 [°C]	감소율 [%]
0	5.5	0
50	5.1	-7.3
60	5.1	-7.3
70	5.2	-5.5

차단율에 따른 냉동컨테이너 적재부 온도의 안정기 도달시간과 감소율을 분석하여 표 3과 그림 11에 나타내었다. 기존 냉동컨테이너(0%) 대비 각 차단율에 따른 안정기 도달시간은 각각 50% 차단율일 때 130분에서 102분으로 21.5% 감소하였고 60% 차단일 때 130분에서 93분으로 28.5% 감소하였으며, 70% 차단일 때 130분에서 116분으로 약 10.8% 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과로 냉동컨테이너에 화물이 적재되어 있을 때 도어쪽으로 냉기를 효율적으로 보낼 수 있어 냉동기부와 도어부 간의 온도차를 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

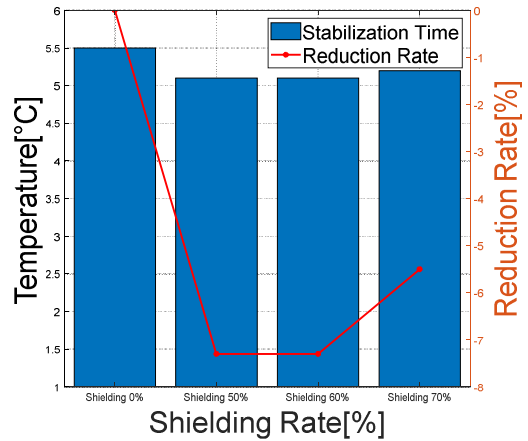


그림 11. 차단율에 따른 안정기 도달시간과 감소율

Fig. 11. Rear end temperature and reduction rate on reaching stability, based on blocking rate

표 3. 차단율에 따른 안정기 도달시간과 감소율

Table 3. Rear end temperature and reduction rate on reaching stability, based on blocking rate

차단율 [%]	안정기 도달시간 [min]	감소율 [%]
0	130	0.0
50	102	-21.5
60	93	-28.5
70	116	-10.8

표 4는 차단율에 따른 냉동컨테이너의 높이별 평균온도, 표준편차 및 표준편차 감소율을 나타낸다. 표 4에 나타난 바와 같이 차단율에 따른 측정 높이별 평균온도 및 표준편차를 비교하면 바닥(0m)에서 표준편차가 가장 높게 나타났으며, 1m와 2m 높이에서는 편차가 측정오차 이내이므로 거의 차이나지 않는 것을 알 수 있다. 그리고 바닥(0m)에서 기존 냉동컨테이너 대비 차단율에 따른 표준편차는 각각 50% 차단율일 때 0.35에서 0.26으로 25.7% 감소, 60% 차단율일 때 0.35에서 0.20으로 42.9% 감소, 70% 차단율일 때 0.35에서 0.27으로 22.9% 감소하는 것으로 나타났다.

표 4. 차폐율에 따른 높이별 온도변화 비교

Table 4. Comparison of Temperature Variations by Height according to Shielding Ratio

측정높이 [m]	차단율[%]	평균온도[°C]	표준편차[°C]	표준편차 감소율[%]
0	0	5.11	0.35	0
	50	4.9	0.26	-25.7
	60	4.9	0.20	-42.9
	70	5.0	0.27	-22.9
1	0	5.16	0.06	N/A
	50	4.9	0.08	N/A
	60	5.0	0.06	N/A
	70	5.0	0.09	N/A
2	0	5.18	0.05	N/A
	50	5.0	0.08	N/A
	60	5.1	0.07	N/A
	70	5.1	0.09	N/A

3. 결론

본 논문에서는 냉동컨테이너 적재부의 온도 편차를 최소화하기 위한 방법을 제시하였다. T-Floor 차단율이 냉동컨테이너 적재부의 온도 변화에 미치는 영향을 실험을 통해 확인하였다. T-Floor를 차단하지 않은 경우와 50%에서 70%까지 10% 간격으로 온도 변화를 측정하고 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 냉동컨테이너의 T-Floor가 개방되어 있어 냉기가 문이 있는 후면부까지 충분히 전달되지 않는다는 것을 확인하였다. 실험을 통해 설정온도 5°C일 때 온도 편차가 가장 큰 도어측(T5)의 온도는 약 5.5°C(차단율 0%)로 약 0.5°C의 편차를 보였다.

(2) T-Floor의 차단율을 50%~70%로 변경하며 적재부 2m 높이에서 온도 분포를 분석한 결과, T5 지점 온도는 차단율 0% 대비 50%~60%일 때 5.5°C에서 5.1°C로 약 0.4°C 감소함을 확인하였다.

(3) 차단율에 따른 냉동컨테이너 적재부의 안정기 도달시간과 온도편차를 모두 비교하였을 때 기존 냉동컨테이너(차단율 0%) 대비 60% 차단율인 경우 안정기 도달시간 감소율은 28.5%, 최대 표준편차 감소율은 42.9%로써 매우 큰 감소율을 가진 것으로 나타났다.

본 연구 결과는 냉동컨테이너 냉동기 효율성을 높이기 위한 연구에 활용될 수 있다. 또한 향후 연구

로 화물이 적재된 냉동컨테이너를 실제 해운물류 환경에서 운송 실험을 통해 적재부 온도 변화 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

[1] Y. S. Moon., S. J. Park., J. W. Jung., H. R. Choi, and J. J. Kim, "Temperature Control Algorithm for Reefer Container", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, pp. 2380-2386, 2017.

[2] J. J. Lee, "An Experimental Study on the Performance Comparison of Refrigeration Devices for Refrigeration Containers", *Ms. Thesis, Graduate School of Pukyong National University*, Busan, Korea, 2015.

[3] G. S. Han, "A Study Situation Analysis and Improvement Strategies for Logistics System of Perishable Foods in Korea," *Korean journal of food marketing economics*, vol.27, no.2, pp.67-104, February, 2010.

[4] J. W. Choi, J. H. Lee, H. J. Lee, K. J. Son, Y. P. Hong, "Effect of Precooling and Functional Film Packaging on Postharvest Quality of Oriental Melon," *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, no.5,

pp.98-98, May, 2014.

[5] G. S. Jung, and J. G. Kim, "Development of shelf-life extension technology of fresh agricultural products for exports by sea transportation," *Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs*, 315088-2, December 2016.

[6] Y. S. Moon., J. W. Jung., S. P. Choi., T. H. Kim., B. H. Lee., J. J. Kim. and H. L. Choi, "Real-time Reefer Container Monitoring System based on IoT", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 19(3), 629-635, 2015

[7] Muhammad, A., B. and Nadhilah, S, "Study on the inlet air Velocity on the Refrigerated Container; Comparison Between flat floor and T-bar Floor", *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* 1034(1):012063, 2021.

[8] Aditama, C., Salim, A., Bisono, R., Hakim, L., Sucipto, S., and Restu, F, "Studi Distribusi Udara Pendingin Reefer Container Ikan pada Kereta Api Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD)", *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, 6(2), 62-74, 2022.

[9] Muhammad, A., Budiyanto, Muhammad B., R. Gerry. L., P. Achmad, R., G. and Muhammad I, "Airflow Distribution Analysis of Reefer Container with Skipjack Tuna Load using Computational Fluid Dynamics", *CFD Letters*. 16, 2, 67-75, 2023.

[10] A. Kan, T. Wang, D. Zhu. and D. Cao, "The Characteristics Of cargo temperature Rising in Reefer Container under Refrigeration-failure Condition", *International Journal of Refrigeration*, 123, 1-8, 2021.

[11] Lukasse, L. J. S., Staal, M. G., Paillart, M. J. M., and Wildschut, J, "Temperature Uniformity And Air Flow Distribution In A 40ft Reefer Container", *In 7th IIR International Conference on Sustainability and the Cold Chain Online: Proceedings:*

April 11-13 2022 Article 1101, 2022.

[12] J. S. Rha, "Analysis of Factors Affecting Surge in Container Shipping Rates in the Era of Covid19 Using Text Analysis", *Journal of Korea Society of Industrial Information Systems*, 27(1), 111-123. 2022.

[13] <https://www.zim.com/ko/cargo>

저자약력

박 상 원 (SangWon Park)

[정회원]



- 2023년 8월: 동아대학교 전기공학(공학석사)
- 2023년 6월~현재: 동아대학교 스마트물류연구센터 연구원

〈관심분야〉 전력시스템, 해운물류, 콜드체인

이 은 규 (EunKyu Lee)

[정회원]



- 2001년 2월: 건국대학교 전자정보통신공학(공학석사)
- 2019년 8월: 동아대학교 전자공학(박사수료)
- 현재: 동아대학교 스마트물류연구센터 선임연구원

〈관심분야〉 안테나 설계, IoT, 컨테이너 보안장치

한 동 섭 (DongSeop Han)

[정회원]



- 2006년 2월: 동아대학교 기계공학(공학박사)
- 현재: 동아대학교 스마트물류연구센터 연구교수

〈관심분야〉 구조해석 및 설계